

DERWENT-ACC-NO: 1998-491871

DERWENT-WEEK: 199842

COPYRIGHT 2006 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Nitride system compound semiconductor light emitting  
element - includes lateral electrode formed on gallium  
nitride contact layer containing multiple contact dots

PATENT-ASSIGNEE: TOSHIBA KK[TOKE]

PRIORITY-DATA: 1997JP-0016825 (January 30, 1997)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
JP <u>10215034</u> A	August 11, 1998	N/A	010	H01S 003/18

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
JP 10215034A	N/A	1997JP-0016825	January 30, 1997

INT-CL (IPC): H01L033/00, H01S003/18

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 10215034A

BASIC-ABSTRACT:

The element includes a sapphire substrate (11) on which an InAlGaN system semiconductor layer is formed. A contact dot (20) which consists of InGaN, is formed on the surface of a p-type GaN contact layer (19) which is the highest layer of the laminated structure. A p-lateral electrode (22) is formed on the contact layer.

ADVANTAGE - Improves element characteristic and reliability. Reduces contact resistance of semiconductor layer and electrode. Reduces schottky barrier. Enlarges contact area with electrode.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.2/7

TITLE-TERMS: NITRIDE SYSTEM COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT  
EMIT ELEMENT LATERAL  
ELECTRODE FORMING GALLIUM NITRIDE CONTACT LAYER  
CONTAIN MULTIPLE  
CONTACT DOT

DERWENT-CLASS: L03 U12 V08

CPI-CODES: L04-A; L04-A02D; L04-E03;

EPI-CODES: U12-A01B6; U12-E01A1; V08-A01D; V08-A04A;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C1998-148156

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1998-385001

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-215034

(43) 公開日 平成10年(1998) 8月11日

(51) IntCl.<sup>5</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平9-16825

(22) 出願日 平成9年(1997) 1月30日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 杉浦 理砂

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 板谷 和彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 西尾 譲司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

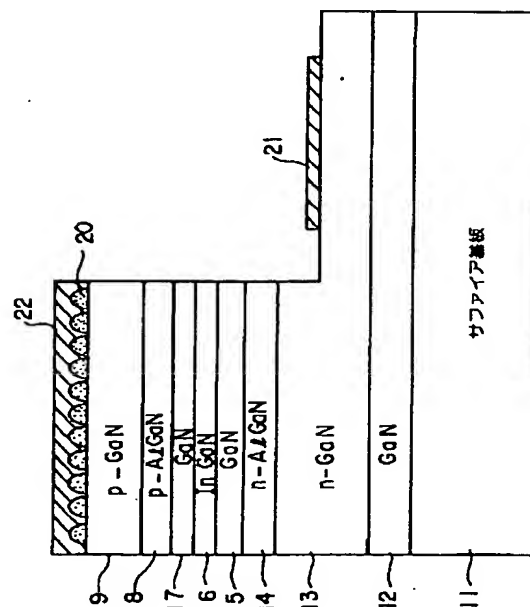
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 化合物半導体素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 InAlGa<sub>x</sub>N系半導体を用いた場合においても、半導体層と電極とのコンタクト抵抗の低減をはかることができ、素子特性及び信頼性の向上をはかる。

【解決手段】 サファイア基板11上にInAlGa<sub>x</sub>N系半導体層を積層してなる化合物半導体レーザにおいて、半導体積層構造の最上層であるp型Ga<sub>0.99</sub>Nコンタクト層19の表面に、InGa<sub>0.99</sub>Nからなるコンタクト用のドット20が形成され、ドット20を表面に形成したコンタクト層19上にp側電極22が形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化物系化合物半導体を積層してなる化合物半導体素子において、

前記窒化物系化合物半導体の積層構造のうち電極とコンタクトするためのコンタクト層の表面に、ドット状の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )、又はビットを有する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )層からなるコンタクト部が形成されていることを特徴とする化合物半導体素子。

【請求項2】前記コンタクト層は、 $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_c\text{B}_d\text{N}$  ( $a+b+c+d=1$ 、 $0 \leq a, b, c, d \leq 1$ ) から成り、該コンタクト層よりも前記コンタクト部のバンドギャップが狭いことを特徴とする請求項1記載の化合物半導体素子。

【請求項3】前記コンタクト層はp型であり、前記コンタクト部にはMg又はZnが添加されていることを特徴とする請求項1記載の化合物半導体素子。

【請求項4】窒化物系化合物半導体を積層して半導体素子を製造する化合物半導体素子の製造方法において、前記窒化物系化合物半導体の積層構造のうち電極とコンタクトするためのコンタクト層の表面に、ドット状の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )、又はビットを有する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )層からなるコンタクト部を形成する工程と、前記コンタクト部を表面に形成したコンタクト層上にオーミック電極を形成する工程とを含むことを特徴とする化合物半導体素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物系化合物半導体を用いた化合物半導体素子に係わり、特に電極コンタクトの改良をはかった化合物半導体素子及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、GaNを始めとする窒化物系化合物半導体を用いた、青色から紫外域にかけての短波長発光素子が注目されている。これらの窒化物系化合物半導体を用いた青緑色発光ダイオード(LED)や短波長半導体レーザ(LD)等の発光素子では、p型及びn型の窒化物系半導体から成るコンタクト層上に電極を形成する必要がある。一般に、n側電極とのコンタクト層として、シリコン(Si)を添加したGaN層が用いられており、その上にTi/Al等の電極を形成する。また、p側電極とのコンタクト層として、マグネシウム(Mg)を添加したGaN層が用いられており、この上にNiやNi/Au等の電極を形成する。

【0003】しかし、このような従来の方法では電極との良好なコンタクトが得られない。特に、p側電極とのコンタクト抵抗が高いため、素子の動作電圧が高くなり、p側電極付近で熱が発生し、電極付近の劣化が生じやすく、LEDでは素子寿命を縮める一要因となる。また、LDでは電流注入時に発生する高熱により、レーザ

発振に至るまでにp側電極が破壊されたり、レーザ発振しても寿命が著しく短いという問題があった。

【0004】以下、この問題をLDを例に取り具体的に説明する。青色半導体レーザを作成するには、n型ドーパントとしてSiH<sub>4</sub>(シラン)、p型ドーパントとしてCp<sub>2</sub>Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、GaAlNクラッド層、GaNコンタクト層、InGaN活性層を有する青色半導体レーザ用多層膜を作製し、多層膜の一部をn型GaNコンタクト層が露出するまでドライエッチング法により除去し、Ti/Alから成るn側電極を形成する。また、p側コンタクト層上にもNi/Auから成るp側電極を形成する。このようにして得られた試料に剪開により共振器端面を形成することにより、窒化物系青色半導体レーザを作製する。

【0005】このような方法で作製した窒化物系半導体レーザに電流注入を行うと、p側電極とのコンタクト抵抗が高いため、動作電圧が高くなり、

(1)素子にレーザ発振に必要な電流を注入することが困難である。

【0006】(2)レーザ発振を生じさせるのに必要な電流を注入しようとすると、動作電圧が20V以上に上昇し、p側電極近傍が破壊される。

(3)レーザ発振してもp側電極とのコンタクト抵抗が高いため、動作電圧が高く、電極部における発熱が著しく長時間の素子動作は困難である。等の問題があった。

【0007】素子の駆動電圧が高い主な原因は、電極金属とp-GaNコンタクト層との接触が非オーミック的であることである。GaN系発光素子の場合、n型のオーミックコンタクトは比較的容易に得られるが、p型のオーミックコンタクトが得られにくい原因として、Mg等のp型ドーパントのキャリアとしての活性化率が低いこと、GaNはワイドギャップ半導体であるため、ショットキー障壁が高いことなどが上げられる。

【0008】ショットキー障壁が高い半導体・金属コンタクトをオーミックコンタクトに近づける場合、一般に(1)高不純物濃度半導体層をコンタクト部に用い、ショットキー障壁の高さを低くすると共に、ショットキー障壁の空乏層幅を狭くする。

【0009】(2)高濃度ドーピングが可能でかつショットキー障壁の低くなる半導体を中間層として挿入する。

(3)仕事関数が大きな金属を用いる。

【0010】(4)金属の一部を半導体中に熱拡散させて、実効的不純物濃度を上げる。

等の方法が用いられる。しかし、これらの組み合わせだけでは、十分低抵抗なオーミック電極は得られない。また、間接的な方法として、成長終了後にコンタクト層の表面にエッチングなどで凹凸をつけ、電極との接触面積を増やすという方法もある。この方法では、そのための工程を余計に設ける必要がある上に、途中の過程にお

る不純物の混入等の新たな問題も発生してくる。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】このように従来、Ga N等の窒化物系化合物半導体素子、特に発光素子としての半導体レーザの実用化には、上述のp側電極のコンタクト抵抗を低減し、素子の動作電圧を低減することが必須であるが、未だコンタクト抵抗の十分な低抵抗化は達成できていない。さらに、コンタクト抵抗低減のために余分な工程を加えたり、不純物混入などの問題を新たに発生させないことも重要である。

【0012】また、まだ実用化には至っていないが、Ga N系半導体を用いた電子デバイスへの応用も試みられている。この場合、p型、n型電極共に低抵抗なものほど高速動作可能な電子デバイスになるため、コンタクト抵抗の低減がこの場合にも重要になる。

【0013】本発明は、上記の事情を考慮して成されたもので、その目的とするところは、窒化物系化合物半導体を用いた場合においても、半導体層と電極とのコンタクト抵抗の低減をはかることができ、素子特性及び信頼性の向上をはかり得る化合物半導体素子及びその製造方法を提供することにある。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】

（構成）上記課題を解決するために本発明は次のような構成を採用している。即ち本発明は、窒化物系化合物半導体を積層してなる化合物半導体素子において、前記窒化物系化合物半導体の積層構造のうち電極とコンタクトするためのコンタクト層の表面に、ドット状の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )、又はビットを有する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )層からなるコンタクト部が形成されていることを特徴とする。

【0015】ここで、本発明の望ましい実施態様としては次のものが上げられる。

- (1) コンタクト層は $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_c\text{B}_d\text{N}$  ( $a+b+c+d=1$ ,  $0 \leq a, b, c, d \leq 1$ ) から成り、 $\text{InGaAlBN}$ コンタクト層よりも $\text{InGaN}$ コンタクト部のバンドギャップが狭いこと。
- (2) コンタクト部のIn組成は、コンタクト層のIn組成よりも大きいこと。
- (3) コンタクト層はp型であり、 $\text{InGaN}$ コンタクト部にはマグネシウム(Mg)又は亜鉛(Zn)が添加されていること。
- (4) コンタクト部を構成するドットの大きさを、 $2.3\text{nm} \sim 1\mu\text{m}$ に設定すること。
- (5) 窒化物系化合物半導体の積層構造を形成するための下地基板として、サファイア基板、スピネル基板、AlN基板、SiN基板、高抵抗SiC基板、高抵抗GaAs基板、又はSi基板等があげられる。
- (6) 窒化物系化合物半導体の積層構造で、LEDやLD等の発光素子を形成すること。

【0016】また本発明は、窒化物系化合物半導体を積層して半導体素子を製造する化合物半導体素子の製造方法において、前記窒化物系化合物半導体の積層構造のうち電極とコンタクトするためのコンタクト層の表面に、ドット状の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )、又はビットを有する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )層からなるコンタクト部を形成する工程と、前記コンタクト部を表面に形成したコンタクト層上にオーミック電極を形成する工程とを含むことを特徴とする。

- 10 【0017】（作用）本発明によれば、電極とコンタクトするためのコンタクト層の表面に無添加又は不純物を添加したドット状の、又はビット（穴）を有するコンタクト部を形成することにより、電極との接触面積を大きくすることができる。しかも、コンタクト部を形成する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )は窒化物系化合物半導体の中で最もバンドギャップの小さな半導体であり、このような半導体を設けることにより添加不純物の活性化率を向上させ、ショットキー障壁、ヘテロ障壁を低減することができる。これにより、コンタクト層と電極とのコンタクト抵抗の低減をはかることができ、素子特性及び信頼性の向上をはかることが可能となる。

【0018】また、電極に対する接触面積が大きくなることから、電極との密着性を向上させて電極剥がれを防止することができる。また、特別な工程を要することなく、結晶成長の最終過程で連続的に形成でき、生産性が良い。また、コンタクト部をドット状の $\text{InGaN}$ とすることにより、電流の広がりを抑制することが可能となる。これは、半導体レーザ等に適用した場合、しきい値電流の低減、横モード制御に有効に作用する。

#### 【0019】

【発明の実施の形態】本発明による素子は窒化物系化合物半導体を用いたものであれば、発光素子でも電子デバイスでもよい。以下に、本発明の詳細を図示の実施形態を用いて説明する。

【0020】（第1の実施形態）ここでは、従来法及び本実施形態による窒化物系化合物半導体と電極とのコンタクト部のみにについて説明する。

【0021】図1(a)は従来法によるもので、p型又はn型不純物を添加した $\text{In}_a\text{Ga}_b\text{Al}_c\text{B}_d\text{N}$  ( $a+b+c+d=1$ ,  $0 \leq a, b, c, d \leq 1$ )から成る窒化物半導体層（コンタクト層）1上にTi/Au、Ni/Au等から成る電極5を蒸着することにより設けたものである。

【0022】また、図1(b)は本実施形態によるもので、窒化物半導体層1の表面に、p型又はn型不純物を添加した $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )2をドット状に形成し、その上に電極5を蒸着形成したものである。

図1(c)も本実施形態によるもので、窒化物半導体層1の表面に、p型又はn型不純物が添加され、かつビット（穴）4を有する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ )3

を形成し、その上に電極5を蒸着形成したものである。  
【0023】ドット状又はビット(穴)を有するInGa<sub>N</sub>コンタクト部を含む窒化物系化合物半導体は、有機金属気相成長(MOCVD)法や分子線エピタキシー(MBE)法などにより成長する。

【0024】電極とのコンタクト部について、二次イオン質量(SIMS)分析法により窒化物半導体層中の不純物濃度を、容量-電圧(C-V)測定によりアクセプタ又はドナー濃度を、ホール効果測定によりp型又はn型のキャリア濃度を測定したところ、窒化物半導体及びドット状の又はビットを有するInGa<sub>N</sub>コンタクト部は、各々の組成によるが、従来法に比べて不純物濃度、アクセプタ又はドナー濃度、キャリア濃度がおよそ2倍から10倍に向上することが分かった。SIMS分析による不純物の拡散プロファイルから、ドット状の又はビットを有するInGa<sub>N</sub>コンタクト部に取り込まれた高濃度の不純物が、下部の窒化物半導体層(コンタクト層)1へ拡散した結果、コンタクト層1の不純物濃度が図1(a)に示す従来法の場合に比べ、増加したことが予想される。

【0025】また、電流-電圧(I-V)測定により電極とのコンタクト抵抗を測定すると、窒化物半導体及びドット状又はビットを有するInGa<sub>N</sub>コンタクト部の組成によるが、コンタクト抵抗はおよそ1/2から1/10に低減できることが分かった。これは、本実施形態により

(1)電極とのコンタクト部の高不純物濃度化が実現できたこと。

【0026】(2)InGa<sub>N</sub>特有の性質によりコンタクト部をドット状、又はビットを有する層にでき、電極との接触面積を拡大できたこと。

(3)窒化物半導体層と電極の間にエネルギーギャップの狭いInGa<sub>N</sub>コンタクト部を挿入したことで、ショットキー障壁を低減できたこと。

による相乗効果によるものと考えられる。

【0027】また、ドット状又はビットを有するInGa<sub>N</sub>コンタクト部を窒化物系化合物半導体層上に形成しているため、電極材料の密着性が増した。このような電極との密着性の向上、コンタクト抵抗の低減による発熱の抑制により、従来のような高電流注入による電極の剥がれの問題も解決できることが分かった。

【0028】このように本実施形態によれば、オーミックコンタクトを取るためのInGaAlBNコンタクト層1の表面に、ドット状の又はビットを有するInGa<sub>N</sub>コンタクト部2又は3を形成することにより、InGa<sub>N</sub>コンタクト部中では不純物濃度、不純物の活性化率を高くでき、コンタクト部中の不純物がその下部に存在するコンタクト層1中に拡散するため、コンタクト層1のキャリア濃度が増加する。さらに、InGaAlBNコンタクト層1と電極5との間に、エネルギーギャップ

が狭いInGa<sub>N</sub>コンタクト部2又は3を挿入すること、InGa<sub>N</sub>コンタクト部中のInが下部に存在するコンタクト層1中に拡散することにより、ショットキー障壁及びヘテロバリアを低減できる。また、InGa<sub>N</sub>コンタクト部がドット又はビットを有することから、電極との接触面積を拡大できる。

【0029】これらの理由により電極とのコンタクト抵抗を従来の1/2から1/10程度に低減でき、その結果として素子の動作電圧も1/2から1/10程度に低減できる。この抵抗低減の値は、単純に接触面積が増えた効果から期待される値よりも数倍大きい。さらに、電極とのコンタクト部に凹凸があるため、電極の密着性も向上し、素子作成中の電極の剥がれの問題も解決できることや、電極の長期信頼性も向上するという効果も付加的に生じる。以上の効果により、素子特性が大幅に向上し、素子寿命も従来に比べて大幅に延ばすことが可能になり、信頼性も大幅に向上した。また、以上に示す効果が従来と略同様の工程で得られるため、コストアップもなく生産性が大幅に向上する。

20 【0030】(第2の実施形態)図2は、本発明の第2の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。

【0031】サファイア基板11上に、バッファ層(図示せず)を介して、アンドープGa<sub>N</sub>下地層12、n型Ga<sub>N</sub>コンタクト層13、n型AlGa<sub>N</sub>電流注入層14、Ga<sub>N</sub>光ガイド層15、InGa<sub>N</sub>活性層16、Ga<sub>N</sub>光ガイド層17、p型AlGa<sub>N</sub>電流注入層18、p型Ga<sub>N</sub>コンタクト層19が、上記の順に形成されている。

30 【0032】p型Ga<sub>N</sub>コンタクト層19の表面には、Mgを高濃度で添加したIn<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>Nから成るコンタクト用ドット20が形成されている。また、上記多層構造の一部はn型Ga<sub>N</sub>コンタクト層13に達するまで除去され、露出したコンタクト層13上にTi/Alから成るn側電極21が形成されている。そして、InGa<sub>N</sub>コンタクト用ドット20を表面に形成したp型Ga<sub>N</sub>コンタクト層19上には、p側電極22が形成されている。

40 【0033】次に、本実施形態の半導体レーザの製造方法について説明する。この半導体レーザは、周知の有機金属気相成長(MOCVD)法により作製した。用いた原料は、有機金属原料として、トリメチルガリウム(TM<sub>G</sub>)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TMI)、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp<sub>2</sub>Mg)を用い、ガス原料として、アンモニア(NH<sub>3</sub>)、シラン(SiH<sub>4</sub>)を用いた。さらに、キャリアガスとして水素及び窒素を用いた。

50 【0034】まず、有機洗浄、酸洗浄によって処理したサファイア基板11をMOCVD装置の反応室内に導入し、高周波によって加熱されるサセプタ上に設置した。

次いで、常圧で水素を25L/分の流量で流しながら、温度1200℃で約10分間だけ気相エッチングを施し、表面にできた自然酸化膜を酸去した。

【0035】次いで、サファイア基板11上に550℃程度の低温においてバッファ層(図示せず)を成長した後、基板温度を1100℃にし、キャリアガスとして水素20.5L/分を流し、アンモニアを9.5L/分、TMGを100cc/分を60分間供給することにより、アンドープGaN下地層12(2.0μm)を形成し、次にSiH<sub>4</sub>を10cc加え、連続してn型GaN

コンタクト層13(4.0μm)を形成した。  
【0036】続いて、TMAを60cc/分だけ加えることによりn型AlGaN電流注入層14(0.25μm)を成長し、さらにその上にアンドープGaN下地層12と同様の成長条件でGaN光ガイド層15を成長した。その後、基板温度を780℃まで降温し、キャリアガスを水素から窒素20.5L/分に切り替え、アンモニアを9.5L/分、TMGを9cc/分、TMIを465cc/分を約30分間流すことによりInGaN活性層16を成長した。

【0037】InGaN活性層16を成長後、基板温度を再び1100℃に昇温し、1100℃に達したら、キャリアガスを再び窒素から水素20.5L/分へ切り替え、上記と同様の方法で、GaN光ガイド層17、p型AlGaN電流注入層18(0.25μm)、p型GaNコンタクト層19(0.3μm)の順で成長する。p型AlGaN電流注入層18の成長時のp型ドーパント原料Cp<sub>2</sub>Mgの供給量は200ccとし、p型GaNコンタクト層19の成長時のCp<sub>2</sub>Mgの供給量は50ccとした。

【0038】次いで、基板温度を1100℃から600℃に下げ、キャリアガスを水素から窒素20.5L/分に切り替え、アンモニアを9.5L/分、TMGを16cc/分、TMIを500cc/分、p型ドーパント原料Cp<sub>2</sub>Mgを200cc/分の流量で供給し、MgドーパントInGaN(In組成50%)を10分間成長し、p型GaNコンタクト層(0.3μm)19上にInGaNコンタクト用ドット20を形成した。そして、有機金属原料の供給を停止し、窒素キャリアガス20.5L/分、及びアンモニア9.5L/分のみを引き続き供給し、基板温度を自然降温した。但し、アンモニアの供給は基板温度が350℃に達した際に停止した。

【0039】以上の方法で作製されたp型伝導層を有する窒化物系半導体レーザ用多層膜について、二次イオン質量(SIMS)分析法によりp型GaNコンタクト層19中のMg濃度を、また容量-電圧(C-V)測定によりアクセプタ濃度を測定した。その結果、InGaNコンタクト用ドット20を形成せず、p型GaNコンタクト層19のみを有する従来型のコンタクト層では、SIM分析によるMg濃度は $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、C-V測

定によるアクセプタ濃度は約 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。

【0040】これに対し、本実施形態によるInGaNコンタクト用ドット20を設けた場合、p型GaNコンタクト層19のMg濃度は約 $4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、アクセプタ濃度は約 $6 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、Mgの取り込まれ率及び活性化率共に向上した。これは、InGaNコンタクト用ドット20へ高濃度のMgが取り込まれ、さらにGaNコンタクト層表面付近に拡散したためと考えられる。

【0041】次いで、上記多層構造の一部をn型GaNコンタクト層13に達するまでドライエッチング法により除去し、露出したコンタクト層13上にTi/Alから成るn側電極21を形成する。また、Mgを高濃度で添加したIn<sub>0.7</sub>Ga<sub>0.3</sub>Nコンタクト用ドット20を上部に形成したp型GaNコンタクト層19上には、p型電極22を形成した。

【0042】次に、n側電極21及びp側電極22を形成した上記半導体素子のI-V特性を測定したところ、良好なオーミック接触が得られた。次に、上述の電極を有する半導体多層膜を形成したウエハを350μm×500μmの大きさに劈開することにより共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作製した。この半導体レーザに電流注入したところ、波長417nmで室温連続発振した。素子の動作電圧は5V、しきい電流密度は2kA/cm<sup>2</sup>であった。

【0043】従来の半導体レーザでは動作電圧は20~30Vであり、本実施形態により1/4~1/6程度動作電圧の低減が可能になった。また、動作電圧の低減により電流注入時の熱の発生が大幅に減少し、従来生じたp側電極付近の劣化は生じなくなった。また、従来の電極の剥がれの問題も解決でき、素子特性、信頼性が大幅に改善された。本実施形態により、素子寿命が従来技術の素子の200倍以上に向上できた。

【0044】(第3の実施形態)図3は、本発明の第3の実施形態に係る半導体レーザの素子構造を示す断面図である。

【0045】サファイア基板31上に、バッファ層32を介してn型GaNコンタクト層33が形成され、このコンタクト層33の上に、n型AlGaN電流注入層34、GaN光ガイド層35、多重量子井戸構造(MQW)の活性層36、GaN光ガイド層37、p型AlGaN電流注入層38がメサストライプ状に形成されている。

【0046】メサストライプの側部には、i型GaN層46が埋め込まれ、AlGaN層38及びGaN層46上には、p型GaNコンタクト層39a、39bが形成されている。つまり、埋め込みメサ構造をしたダブルヘテロ構造を形成し、さらにその上にp型GaN層39a、39bから成るp側電極とのコンタクト層を形成し

た。埋め込みには、高抵抗のGaN層を用いた。

【0047】また、n型GaNコンタクト層33の上部にTi/Alから成るn側電極41が形成されている。p型GaNコンタクト層39bの表面には、p型InNコンタクト用ドット40が形成されており、このコンタクト用ドット40を形成したコンタクト層39b上にp側電極42が形成されている。

【0048】次に、本実施形態の半導体レーザの製造方法を以下に説明する。まず、有機溶媒及び酸によって洗浄したサファイア基板31をMOCVD装置の加熱可能なサセブタ上に載置した。次いで、水素を20L/分の流量で流しながら、温度1200℃で約10分間、サファイア基板表面を気相エッチングした。

【0049】次いで、温度を550℃まで降温し、バッファ層32を成長し、次に温度を1100℃まで昇温し、水素を15L/分、窒素を5L/分、TMGを100cc/分、アンモニアを10L/分、シランを5cc/分の流量でそれぞれ1時間流すことによって、n型GaN層33を約2μm成長した。これに、温度を1100℃で保持したまま、TMA50cc/分の流量を約15分間加えることによって、n型AlGaN電流注入層34を約500nmの厚さで形成した後、再度TMAの供給を停止し、約10分間の供給でGaN光ガイド層35を約200nmの厚さで形成した。

【0050】次いで、TMGの供給を停止し、基板温度を780℃まで降温した。この温度で、TMGを10cc/分、アンモニアを10L/分、水素を30cc/分、窒素を約19.7L/分流し、この中にTMIの流量を140cc/分と15cc/分との組み合わせで約1.5分ずつ20回繰り返し切り替えて供給し、最後に15cc/分で3分間供給することにより、多重量子井戸構造(MQW)の活性層領域36を形成した。

【0051】次いで、水素を40cc/分、窒素を19.96L/分、アンモニアを10L/分の流量で流しながら、1100℃まで4分間かけて昇温した。昇温時の雰囲気の水素であると活性層領域がエッチングされるので、この過程での雰囲気は窒素であることが望ましい。

【0052】次いで、温度を1100℃で保持し、水素を500cc/分、窒素を14.5L/分、TMGを100cc/分、アンモニアを10L/分、Cp<sub>2</sub>Mgを50cc/分の流量で約10分間供給して、GaNガイド層37を約200nmの厚さで形成した。これにTMAを50cc/分の流量で15分間加えることによって、p型AlGaN電流注入層38を約500nmの厚さで形成した。但し、上記p型層を形成する際の有機金属原料のキャリアガスは水素とした。この状態で室温まで降温し、MOCVD装置から取り出し、周知の熱CVD装置内で表面に幅20μmのSiO<sub>2</sub>膜(図示せず)を形成した。

【0053】次いで、ウェハをRIE装置内に置き、開口部BC13ガスによってメサ構造にエッチング除去した。このようにして作製したウェハを再びMOCVD装置内のサセブタ上に載置し、窒素30L/分の中で1100℃まで昇温した。

【0054】次いで、温度1100℃で、水素を500cc/分、窒素を14.5L/分、TMGを100cc/分、アンモニアを10L/分、DMZ(ジメチルジシク)を50cc/分の流量で約1時間供給して、n型AlGaN電流注入層34からp型AlGaN電流注入層38までのメサをi型GaN層46で埋め込む構造とした。このようなi型GaN層46の形成を、本実施形態ではメサエッチング後の成長で形成したが、エッチング除去せずに水素や酸素などをイオン注入することによって作製することも可能である。例えば、水素では200keV、 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ の注入で実現することができる。

【0055】次いで、温度を1100℃で保持したまま、水素30L/分を約1分間流し、p型AlGaN電流注入層38上に残っている前記SiO<sub>2</sub>膜をエッチング除去した。

【0056】次いで、温度を1100℃で保持したまま、主キャリアガスを水素から窒素へ切り替え、水素を500cc/分、窒素を14.5L/分、TMGを100cc/分、アンモニアを10L/分、Cp<sub>2</sub>Mgを50cc/分の流量で約10分間供給して、p型GaN層(第1のコンタクト層)39aを約900nmの厚さで形成した。さらに、Cp<sub>2</sub>Mgを150cc/分に流量を増加し、3分間供給することによって、p型GaN層(第2のコンタクト層)39bを厚さ100nm形成した。

【0057】次いで、サセブタ温度を500℃にし、Cp<sub>2</sub>Mg流量を200cc/分に増加し、TMI450ccを3分間供給することにより、p型GaN層39b上にp型InNコンタクト用ドット40を形成した。p型GaN層39a、39b及びp型InNコンタクト用ドット40は熱処理などの後工程を必要とせずにp型伝導を示した。

【0058】次いで、TMI及びCp<sub>2</sub>Mgの供給を停止し、基板温度を室温まで降温した。但し、1100℃から350℃までは水素500cc/分、窒素14.5L/分、アンモニア10L/分を引き続き供給し続け、350℃でアンモニアの供給を停止した。

【0059】このようにして作製したレーザ構造を、MOCVD装置から取り出し、周知の真空蒸着法やスパッタ法などを用いて、n型GaNコンタクト層33に対しては、Pt(厚さ50nm)、Ni(厚さ50nm)、Au(厚さ2μm)をこの順で形成し、良好なオーミック電極41とした。一方、表面にp型InNコンタクト用ドット40を形成したp型GaNコンタクト層39b



上には、順にPd(厚さ20nm)、Ti(厚さ30nm)、Pt(厚さ20nm)、Au(厚さ2μm)を形成し、窒素中500℃で1分間の熱処理を施すことにより、 $1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ 程度のオーミック電極42とした。ここでは、電極に上述したものをを用いたが、これらに示した金属と、Al、Sc、Mg、Si、Crなどとの積層構造或いは合金層などを用いることができる。

【0060】次に、このレーザ構造を基板側からスクライバなどを用いて劈開し、共振器ミラーを形成した。このようにして作製した半導体レーザは波長420nmで連続発振した。また、この素子の動作電圧は4.2Vでしきい電流密度は1.5kA/cm<sup>2</sup>であった。

【0061】本実施形態による半導体レーザでは、p側電極42とのInNコンタクト用ドット40中に高濃度のMgが取り込まれ、Mgの活性化率も高い。また、多層膜成長後の降温過程、及び電極形成時の熱処理過程でInNコンタクト用ドット40中のMgが、下部のp型Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層39b表面付近へ拡散し、電極42とのコンタクト部のMg濃度、p型のキャリア濃度が増加する。さらに、p型Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層39bとp側電極42との間にInNコンタクト用ドット40を形成しているため、ショットキー障壁を低減でき、良好なオーミックコンタクトが得られるようになる。

【0062】また、p型Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト39b上にInNコンタクト用ドット40を形成しているため、電極との接触面積が拡大でき、コンタクト抵抗が約1/3に低減できるため、素子の動作電圧を3倍にできる。さらに、電極とのコンタクト部に凹凸を有するため、電極と半導体多層膜のコンタクト部の密着性が増し、電極の剥がれの問題も無くなり、歩留まり、信頼性が向上する。

【0063】このように本実施形態によれば、コンタクト部の高キャリア濃度化及び電極との接触面積の拡大により、電極とのコンタクト抵抗の低減が可能になり、動作電圧が1/5から1/7程度に低減でき、素子寿命が従来技術の素子の200倍以上に向上できた。また、電極との密着性も増し、従来法からのコストアップ無しで窒化物系半導体レーザの特性、信頼性が大幅に向上できる。

【0064】(第4の実施形態)図4は、本発明の第4の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。

【0065】この半導体レーザは、基本的には第2の実施形態と同様の構造及び作製方法であるが、p型AlGa<sub>0.5</sub>N電流注入層18上にp型Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層を設けず、直接Mgを高濃度で添加したIn<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nから成るコンタクト用ドット20を形成する。上記Mgを高濃度で添加したInGa<sub>0.5</sub>Nコンタクト用ドット20は、第2の実施形態の場合と同様に、p型AlGa<sub>0.5</sub>N電流注入層18を高温(1100℃)で成長後、サセプタ温度を680℃に下げ15分間、連続的に形成する。こ

のようにp型AlGa<sub>0.5</sub>N電流注入層18上に直接InGa<sub>0.5</sub>Nコンタクト用ドット20を形成する場合は、AlGa<sub>0.5</sub>NとInGa<sub>0.5</sub>Nの格子不整合が大きいため、InGa<sub>0.5</sub>Nコンタクト用ドット20は低In組成でも比較的ドット状に形成しやすい。

【0066】上記の半導体多層構造に対してドライエッチング法により共振器ミラーを形成し、半導体レーザを作製した。このようにして作製した半導体レーザでは、p-GaNコンタクト層が無いため、この層における電圧降下が無く、素子抵抗が更に低減できる。ちなみにこのレーザは、電流注入により415nmで室温連続発振した。この際の動作電圧は4.0V、しきい値電流密度は1.3kA/cm<sup>2</sup>であった。この素子でも従来技術の素子の100倍の動作寿命が得られ、電極の剥がれも生じないことが確認できた。

【0067】(第5の実施形態)図5は、本発明の第5の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図である。

【0068】この半導体レーザは、基本的には第2の実施形態と同様の構造及び作製方法であるが、InGa<sub>0.5</sub>Nコンタクト用ドット20及びp側電極22をストライプ状に設け、これにより電流狭窄を行っている。

【0069】ここで、本実施形態のようにp型Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層19上にInGa<sub>0.5</sub>Nコンタクト用ドット20を介してp側電極22を選択的に設けた場合と、従来のようにp型Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層19上に直接p側電極22を選択的に設けた場合とを比較する。

【0070】コンタクト層19上に直接p側電極を設けた場合、図6(b)に示すように、電極22からの電流の広がり大きい。これに対し、コンタクト層19上にコンタクト用ドット20のような微粒子を形成した場合、図6(a)に示すように、ドット20からの電流の広がり極めて小さい。このため、p側電極22からの電流の広がりを小さくすることができる。これは、電流狭窄を効果的に行うことを可能にし、しきい値電流の低減及び横モード制御に有効である。

【0071】(第6の実施形態)図7は、本発明の第6の実施形態に係わるトランジスタの素子構造を示す断面図である。

【0072】高抵抗GaAs基板71上にGa<sub>0.5</sub>Nバッファ層72が形成され、その上にn型Ga<sub>0.5</sub>N電子走行層73が形成されている。そして、電子走行層73上にソース電極75、ドレイン電極76、及びゲート電極77を形成することにより、トランジスタが構成されている。

【0073】次に、本実施形態のトランジスタの製造方法を説明する。まず、高抵抗GaAs基板71上に、前記実施形態と同様の条件でMOCVD法でノンドープGa<sub>0.5</sub>Nバッファ層72を0.3μm、続いてn型Ga<sub>0.5</sub>N電子走行層73を0.1μm成長する。さらに、n型InGa<sub>0.5</sub>N(In=50%)74を基板温度400℃にて成

長すると、前記の実施形態同様にドット状に配列する。ドットの径が約50nm程度になるところで成長を終了した。

【0074】この基板を使い、従来技術の光リソグラフィにより、まずオーミック電極であるソースとドレイン領域をパターンニングし、Niを厚さ5nm、Auを100nm蒸着し、リフトオフ法で電極75、76を形成した。ソースとドレインの間隔は5μmである。続いて、リソグラフィによりソースとドレインの中央にゲート電極領域をパターンニングした。エッチングにより、この領域表面のInGaNDott74を取り除いた。これは、電極面積が増えるとショットキーゲートのリーク電流が増えてしまうのを防ぐためである。次いで、Tiを10nm、Auを100nm蒸着し、リフトオフ法で電極77を形成した。ゲート長は約0.5μmである。

【0075】比較のため、InGaNコンタクト用ドット74をGaN層表面に成長させない従来型の基板を使って、同じサイズの電極を設けたトランジスタも作製した。これらのトランジスタの特性を比較したところ、InGaNコンタクト用ドット74があるタイプのトランジスタのコンダクタンスは、従来型のものに比べ50%大きくなったことが確認できた。

【0076】なお、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではない。第2～第5の実施形態では基板としてサファイアを用いたが、その代わりにSiCを用いることも可能である。さらに、半導体レーザに限らず発光ダイオードに適用することも可能である。

【0077】また、コンタクト部を構成するドットの大きさは、大きすぎても小さすぎてもその効果が小さくなるので、2.3nm～1μmに設定するのが望ましい。さらに、コンタクト用ドットを構成するInGaNは、MOCVD法によりドットが形成されやすいように、In組成を下地のコンタクト層のそれよりも大きくした方が望ましい。また、InGaNコンタクト用ドットを形成する代わりに、ビット(穴)を有するInGaN層を形成してもよい。この場合も、ドットを形成したのと同様の効果が得られる。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0078】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、電極とコンタクトするためのコンタクト層の表面に無添加又は不純物を添加したドット状の、又はビット(穴)を有するIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0<x≤1)からなるコンタクト部を形成することにより、電極との接触面積を大きくすることができ、ショットキー障壁を低減することができる。従って、窒化物系化合物半導体を用いた場合においても、半導体層と電極とのコンタクト抵抗の低減をはかることができ、素子特性及び信頼性の向上をはかる

ことが可能となる。

【0079】また、電極に対する接触面積が大きくなることから、電極との密着性を向上させて電極剥がれを防止することができ、さらに特別な工程を要することなく、結晶成長の最終過程で連続的に形成できるため、生産性の向上をはかることも可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態における積層構造を従来例と比較して示す図。

【図2】第2の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図3】第3の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図4】第4の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

【図5】第5の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

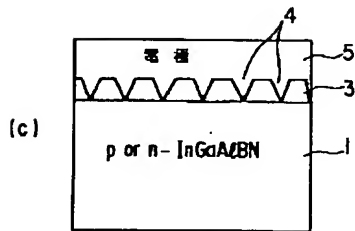
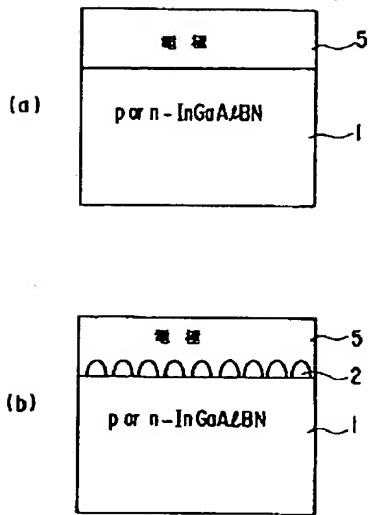
【図6】第5の実施形態における効果を説明するための模式図。

【図7】第6の実施形態に係わる半導体レーザの素子構造を示す断面図。

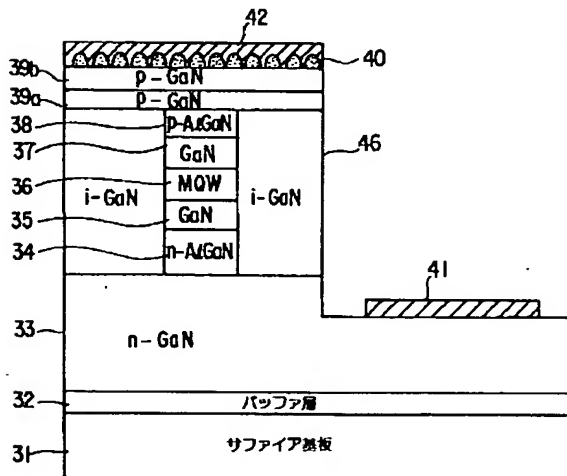
【符号の説明】

- 1…InGaAlBNコンタクト層
- 2…InGaNDott
- 3…InGaN層
- 4…ビット
- 5…電極
- 11、31…サファイア基板
- 12…アンドープGaN下地層
- 13、33…n型GaNコンタクト層
- 14、34…n型AlGaIn電流注入層
- 15、35…GaN光ガイド層
- 16…InGaIn活性層
- 17、37…GaN光ガイド層
- 18、38…p型AlGaIn電流注入層
- 19、39a、39b…p型GaNコンタクト層
- 20…InGaInコンタクト用ドット
- 21、41…n側電極
- 22、42…p側電極
- 32…アンドープGaNバッファ
- 36…MQW活性層領域
- 40…InNコンタクト用ドット
- 46…i型GaN埋込み層
- 71…高抵抗GaAs基板
- 72…GaNバッファ層
- 73…n型GaN電子走行層
- 74…n型InGaInコンタクト用ドット
- 75、76、77…電極

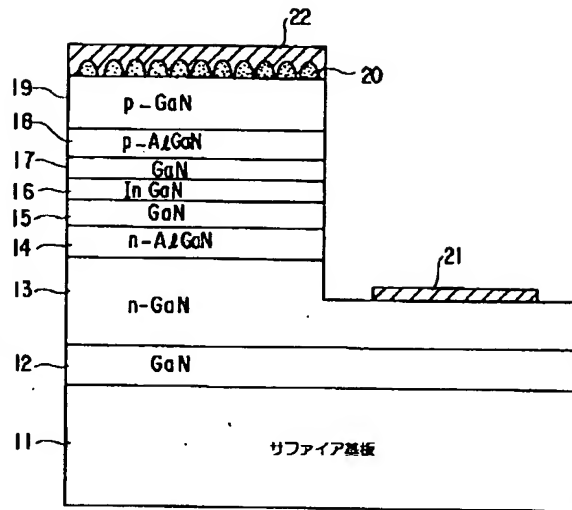
【図1】



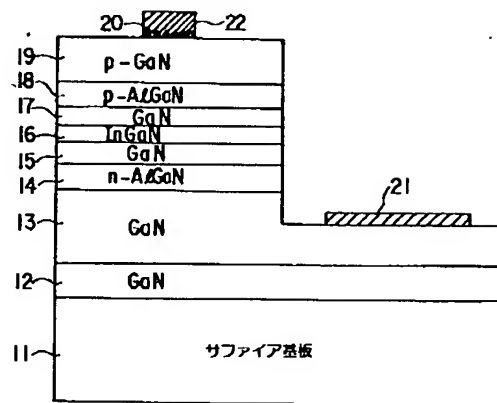
【図3】



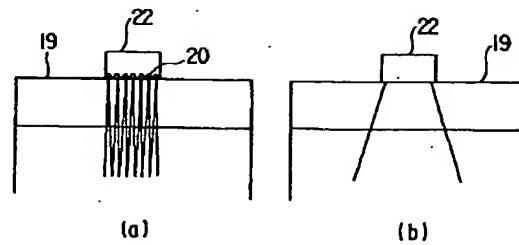
【図2】



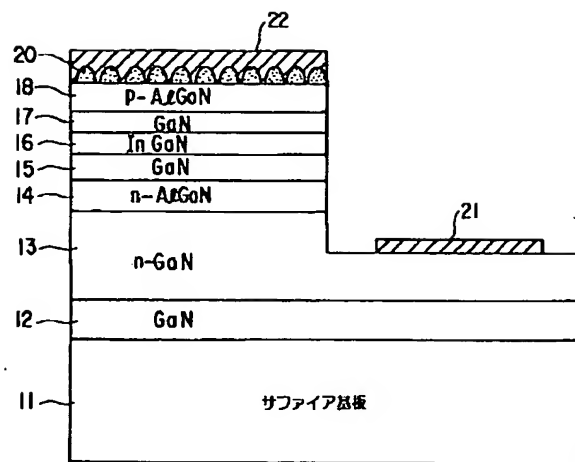
【図5】



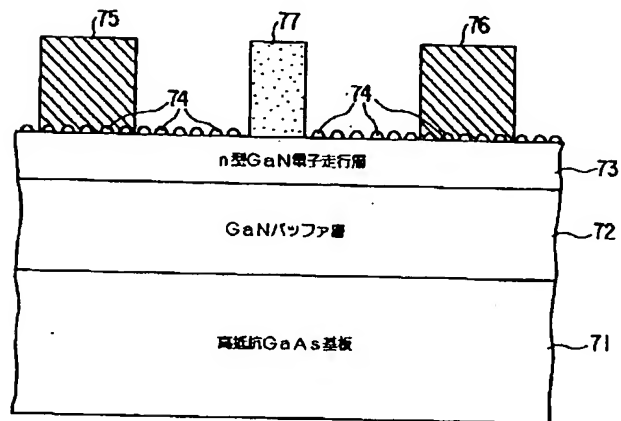
【図6】



【図4】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 藤本 英俊  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内